

ТРУДЫ

Общества Естествоиспытателей при Императорскомъ Юрьевскомъ

Schriften

herausgegeben von der Naturforscher-Gesellschaft bei der Universität Turjeff (Tartu).

XI.

О тепловомъ расширеніи воды

между 30 и 80°.

Георгія Ландезенъ.



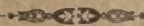
Ueber die

Wärmeausdehnung des Wasser

zwischen 30 und 80°.

Von

Georg Landesen.



Юрьевъ.

Типографія К. Маттисена.

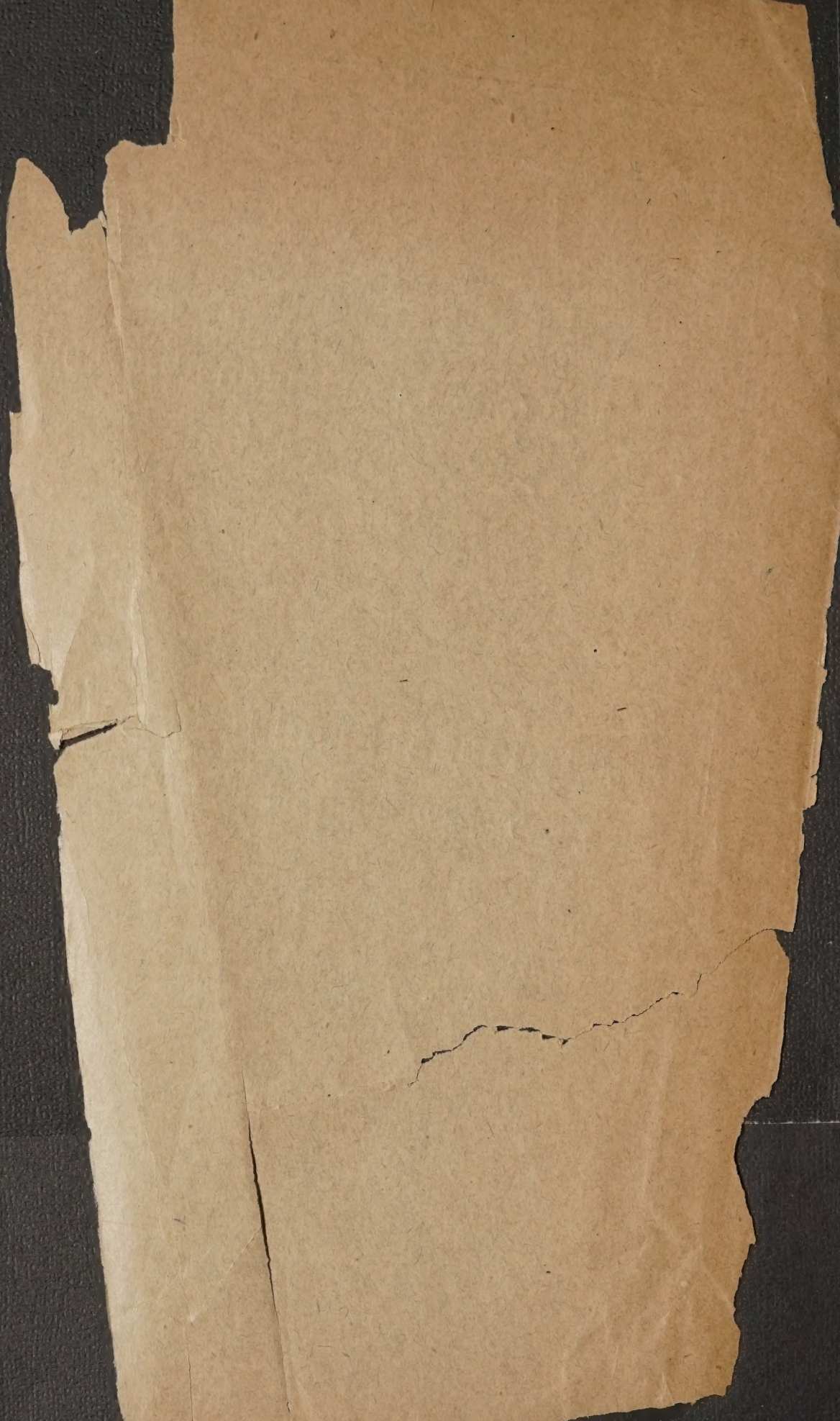
1902.

Продается у Н. Ф. Кэлера въ Лейпцигѣ и
И. Андерсона бывш. Э. И. Каровъ въ Юрьевѣ.

Jurjeff

Druck von

In Commission bei
J. Anderson vorm.



ТРУДЫ

Общества Естественныхъ Испытателей при Императорскомъ Юрьевскомъ Университетѣ.

Schriften

herausgegeben von der Naturforscher-Gesellschaft bei der Universität Jurjeff (Dorpat).

XI.

О тепловомъ расширеніи воды

между 30 и 80°.

Георгія Ландезенъ.



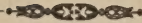
Ueber die

Wärmeausdehnung des Wassers

zwischen 30 und 80°.

Von

Georg Landesen.



Юрьевъ.

Типографія К. Маттисена.
1902.

Продается у К. Ф. Кёлера въ Лейпцигѣ и
И. Андерсона бывш. Э. И. Каровъ въ Юрьевѣ.

Jurjeff (Dorpat).

Druck von C. Mattiesen.
1902.

In Commission bei K. F. Köhler in Leipzig und
J. Anderson vorm. E. J. Karow in Jurjeff (Dorpat).

Дозволено цензурою. — Юрьевъ, 18 ноября 1902 г.

Занимаясь изслѣдованіями надъ тепловымъ расширеніемъ водныхъ растворовъ въ предѣлахъ температуры отъ 30 до 80⁰, я началъ свои наблюденія съ воды по двумъ причинамъ. Съ одной стороны это должно было дать мнѣ возможность судить о томъ, насколько точно мнѣ удалось опредѣлить объемы въ зависимости отъ температуры, съ другой стороны я надѣялся, такъ какъ объемы воды въ означенныхъ предѣлахъ температуры до сихъ поръ не достаточно точно извѣстны, получить болѣе точныя данныя, чѣмъ существующія въ настоящее время въ литературѣ.

Литература.

Оставляя полный перечень литературы по вопросу о расширеніи воды и ея растворовъ до публикаціи всей работы, я приведу ее здѣсь на столько, чтобы можно было судить о тѣхъ успѣхахъ, которые были сдѣланы въ теченіи прошлаго столѣтія въ наблюденіяхъ надъ тепловымъ расширеніемъ воды между 0 и 80⁰.

Въ 1810 году появилась работа Bischof'a¹⁾, въ которой авторъ, преслѣдуя цѣль дать работающимъ на солонварняхъ необходимыя свѣдѣнія относительно удѣльнаго вѣса, расширенія отъ теплоты, содержанія и точекъ кипѣнія и затвердѣванія соляныхъ разсоловъ, даетъ кромѣ обширнаго, относящагося сюда матеріала также и опредѣленія теплового расширенія воды между 0 и 80⁰ по Réaumur. Наблюденія произведены гидростатическими вѣсами и дана таблица плотностей воды, причемъ плотность при 15⁰ R. принята = 100.00000.

Hällström опубликовалъ съ 1801 по 1827 годъ 5 работъ²⁾, посвященныхъ расширенію воды отъ теплоты. Онъ подчислилъ заново собранный своими предшественниками матеріалъ, исправивъ сдѣланныя ими ошибки и введя поправку

1) Bischof; Gilberts Ann. 35 (1810), p. 311.

2) G. G. Hällström: диссертація, Обо 1801, отпечатанная также въ Gilberts Ann. 14 (1803), p. 297; далѣе Gilberts Ann. 17 (1804), p. 107; 20 (1805), p. 384; Poggendorffs Ann. 1 (1824), p. 129; 9 (1827), p. 530.

на расширеніе стекла, забытую нѣкоторыми изъ нихъ, и далъ затѣмъ самъ новыя опредѣленія расширенія воды между 0 и 30° С., пользуясь гидростатическими вѣсами. Объемы воды подсчитаны авторомъ съ 7-ью знаками (при 0° = 1), а расширеніе воды выражено интерполяціонной формулой вида $V_t = V_0(1 + at + bt^2 + ct^3)$.

Съ цѣлью опредѣлить со всей точностію, какой возможно достигнуть, тепловое расширеніе различныхъ жидкостей Muncke¹⁾ изслѣдоваль между прочимъ и расширеніе воды. Обширныя, опубликованныя въ 1831 г. изслѣдованія произведены дилатометрическимъ способомъ. Хотя авторъ примѣнилъ много труда и старанія при опредѣленіяхъ постоянныхъ и поправокъ своихъ дилатометровъ, избѣгая ошибокъ, сдѣланныхъ предшественниками, то его данныя однако не точнѣ полученныхъ до него, потому что способъ установки и держанія желаемыхъ температуръ былъ весьма недостаточнымъ (водяныя бани), не дававшимъ увѣренности въ томъ, что дилатометры дѣйствительно имѣли ту температуру, которую показывалъ термометръ. Съ водой были произведены три ряда наблюденій отъ 0 до 100° С., и, хотя соотвѣтствующіе объемы различаются между собой обыкновенно уже въ нѣсколькихъ единицахъ пятого знака и даже иногда до единицы четвертаго знака, авторъ даетъ объемы воды съ 10 (!) знаками (при 0° = 1). Дана интерполяціонная формула вида $V_t = V_0(1 + at + bt^2 + ct^3 + dt^4)$.

Въ 1831-же году опубликовалъ Stampfer²⁾ свои изслѣдованія надъ тепловымъ расширеніемъ воды между — 3 и + 40° по R. Онъ даетъ таблицу плотностей воды съ шестью знаками, принявъ плотность ея при 3.75° R. за единицу. Опредѣленія производились посредствомъ гидростатическихъ вѣсовъ. Къ работѣ приложена таблица, сравнивающая цифры автора съ результатами наблюденій Biot, Hällström и Muncke; отклоненія достигаютъ 4-хъ единицъ четвертаго знака послѣ запятой.

Despretz³⁾ изслѣдоваль (1839—1840) съ большою тщательностію расширеніе воды и водныхъ растворовъ. Съ водой онъ работалъ по двумъ методамъ, по методу Rumfort-Hope (между + 10 и — 9°) и при помощи дилатометра. Тепловое расширеніе воды между — 9 и + 100° С. дается для cadaго градуса съ пятью знаками (только между — 9 и + 10° съ семью знаками) на основаніи графической интерполяціи изъ 19 наблюденій, произведенныхъ въ названныхъ предѣлахъ температуры. Объемъ при + 4° принятъ за единицу.

J. Pierre⁴⁾ опредѣлилъ (1845) при своихъ работахъ надъ расширеніемъ различныхъ органическихъ жидкостей также и расширеніе воды въ предѣлахъ отъ

1) G. H. Muncke; Ueber die Ausdehnung der tropfbaren Flüssigkeiten durch die Wärme; Mém. prés. à l'acad. imp. des sc. de St. Pétersbourg par divers savants, tome 1 (1831), p. 249. Представлена была академіи эта работа уже 13 августа 1828 г.

2) S. Stampfer; Pogg. Ann. 21 (1831), p. 75, гдѣ помѣщена подробная выдержка изъ „Jahrbücher des k.k. polytechn. Instituts in Wien“, томъ 16, стр. 1.

3) M. C. Despretz; Recherches sur le maximum de densité de l'eau pur et des dissolutions aqueuses; Annales de chimie et de physique 70 (1839), p. 5.

4) J. Pierre; Recherches sur la dilatation des liquides; Annales de chimie et de physique (III) 15 (1845), p. 325.

— 13.14⁰ до + 100⁰ С. Определенія произведены дилатометрическимъ способомъ. Наблюденные объемы подсчитаны съ 11 знаками (при 0⁰ = 1). При такомъ изобиліи десятичныхъ знаковъ автору конечно не удалось найти выраженія формы

$$1 + Dx = 1 + ax + bx^2 + cx^3 + \dots,$$

передающаго достаточно точно ходъ расширенія воды.

Karsten¹⁾ опубликовалъ въ 1846 году свои главнымъ образомъ для нуждъ солеваренъ произведенныя обширныя изслѣдованія надъ водными растворами поваренной соли, при которыхъ онъ наблюдалъ также, применивъ методъ гидростатическаго взвѣшиванія, тепловое расширеніе воды. Таблица даетъ отнесенные къ единицѣ при 0⁰ объемы воды съ шестью знаками въ предѣлахъ температуры отъ 0 до 100⁰ С. для каждаго пятаго градуса.

Занимаясь вопросомъ о зависимости, существующей между удѣльнымъ вѣсомъ, точкой кипѣнія и химическимъ строеніемъ тѣлъ, Н. Копп²⁾ опубликовалъ въ 1847 году обширную работу надъ этими свойствами воды и многихъ органическихъ жидкостей. Определенія теплового расширенія производились дилатометрическимъ способомъ, при чемъ особенное вниманіе было обращено на устраненіе ошибокъ, вводимыхъ въ определеніе температуры неточностію термометровъ. Перегретая и освобожденная отъ воздуха вода наблюдалась между 0 и 100⁰ С. Дана таблица объемовъ воды съ шестью знаками (при 0⁰ = 1) для каждаго градуса до 25⁰, выше для каждаго пятаго градуса, подсчитанная авторомъ по найденнымъ интерполяціоннымъ формуламъ вида $V_t = V_0 (1 + at + bt^2 + \dots)$, составленнымъ имъ, съ цѣлью большаго приближенія къ наблюденіямъ, для интерваловъ температуры по 25 градусовъ.

По методу гидростатическаго взвѣшиванія опредѣлилъ въ 1855 году Hagen³⁾ расширеніе воды между 0 и 100⁰ С. По даннымъ наблюденій авторъ построилъ кривую въ большомъ масштабѣ, позволявшемъ помѣстить всѣ десятичные знаки, подсчитанные изъ наблюденій, и вывелъ отсюда для расширенія воды формулу $\sqrt{y-c} = r \cdot t - s t^{1.6}$; здѣсь c обозначаетъ вѣсъ опредѣленнаго объема воды, y то значеніе c , которое соотвѣтствуетъ температурѣ максимальной плотности воды; $r = t - x$, гдѣ t есть наблюдаемая температура а x температура максимальной плотности воды; r и s постоянныя. Найдя, что эта формула удовлетворительно выражаетъ въ предѣлахъ ошибокъ наблюденій ходъ расширенія воды отъ 0 до 100⁰, авторъ даетъ подсчитанную по этой формулѣ таблицу объемовъ и плотностей воды для каждаго градуса отъ 0 до 100⁰ съ семью десятичными знаками.

Въ 1859 году вышла въ видѣ отдѣльной брошюры работа J. Th. Gerlach'a:

1) G. Karsten; Karstens Archiv für Mineralogie, Geognosie, Bergbau und Hüttenkunde. 20 (1846), p. 3—256.

2) Hermann Kopp; Pogg. Ann. 72 (1847), p. 1.

3) Hagen; Ueber die Ausdehnung des destillierten Wassers unter verschiedenen Wärmegraden; Abhandlungen der K. Academie der Wiss. zu Berlin, 1855.

Specifiche Gewichte der gebräuchlichsten Salzlösungen bei verschiedenen Concentrationen etc. (Freiberg 1859). Первая часть сочинения занимается опредѣленіемъ удѣльнаго вѣса растворовъ солей, вторая часть заключаетъ наблюденія надъ тепловымъ расширеніемъ воды и водныхъ растворовъ. Опредѣленія сдѣланы дилатометромъ между 0 и 100° С. Объемы воды даны съ пятью знаками (при 0° = 1). Примѣнялась графическая интерполяція.

Тщательно произведенныя измѣренія теплового расширенія воды дали Jolly и Henrici¹⁾ (1864). Henrici пользовался пикнометромъ, наблюдая расширение воды между 30 и 100° С., Jolly опредѣлили объемы воды дилатометромъ между 0 и 100°. Термометръ былъ сравненъ съ воздушнымъ. У Henrici отдѣльныя наблюденія при одной и той-же температурѣ различаются между собой до 9 единицъ пятого знака, у Jolly эти различія наблюденій до 80° не болѣе 3 единицъ пятого знака, между 80 и 100° однако доходятъ до единицы четвертаго знака. Заключительныя таблицы даны съ шестью знаками (при 0° = 1). Разница между объемами Jolly и Henrici достигаетъ двухъ единицъ четвертаго знака, при чемъ объемы Henrici обыкновенно превышаютъ объемы Jolly.

Съ цѣлью провѣрить данныя Kopp'a, Matthiesen²⁾ (1866) работалъ надъ расширеніемъ воды между 4 и 100°, взвѣсивая кусокъ стекла въ водѣ при различныхъ температурахъ. Посредствомъ интерполяціонныхъ формулъ, выведенныхъ изъ наблюденій, подсчислена таблица объемовъ для каждаго градуса въ означенномъ интервалѣ температуры съ шестью знаками. Полученныя цифры сравнены съ данными Kopp'a, Despretz, Pierre и Hagen'a; разности достигаютъ шести единицъ четвертаго знака.

Къ этому-же времени относятся публикаціи Rossetti³⁾ (1866—1868), который дилатометрическимъ путемъ опредѣлялъ тепловое расширение воды между —5.7° и +98.87°. На основаніи своихъ наблюденій авторъ даетъ, примѣнивъ графическую интерполяцію, таблицу плотностей воды для каждаго градуса отъ —6 до +100° съ шестью знаками, принимая плотность при 0° за единицу. Сравнивая свои опредѣленія съ данными предшественниковъ (Kopp, Despretz, Hagen и др.), авторъ находитъ значительныя различія въ пятомъ до четвертаго знака, замѣчая, что, хотя болѣшая часть авторовъ даетъ 6 и болѣе знаковъ, точность всѣхъ этихъ наблюденій много ниже.

Наблюденія надъ плотностями воды между —1° и +20° С. произведены были посредствомъ гидростатическихъ вѣсовъ Marek'омъ⁴⁾ (1884), при этомъ

1) Jolly; Ueber die Ausdehnung des Wassers von 30 bis 100°; Sitzungsberichte d. K. bayer. Academie der Wiss. zu München, 1864, I, p. 141.

2) A. Matthiessen; Ueber die Ausdehnung des Wassers und des Quecksilbers; Pogg. Ann. 128 (1866), p. 512.

3) F. Rossetti; Atti dell' Instituto Veneto XII (1866) e XIII (1868); подробная выдержка самого автора изъ обѣихъ работъ въ Pogg. Ann., Ergänzb. V (1871), p. 258.

4) M. W. J. Marek; Travaux et mémoires du Bureau international des poids et mesures, tome 3 (1884), D. 81.

изслѣдовалась какъ вода, освобожденная отъ воздуха, такъ и насыщенная воздухомъ. Въ 1891 году М. сдѣлалъ предварительное сообщеніе¹⁾ о новыхъ наблюденіяхъ надъ расширеніемъ воды, давъ таблицу плотностей между 0 и 31° для каждой 0.1 градуса съ семью знаками (при $+4^0 = 1$). Температуры по водородному термометру.

С. О. Макаровъ²⁾ даетъ въ сообщеніи (1891) объ удѣльныхъ вѣсахъ морской воды опредѣленія плотностей и дистиллированной воды. Наблюденія производились ареометромъ между -5 и $+36^0$ С. Таблица содержитъ плотности воды для каждой 0.1 градуса съ шестью знаками (при $+4^0 = 1$).

К. Scheel³⁾ опредѣлили (1892) съ большою тщательностію и значительной точностію дилатометрическимъ способомъ тепловое расширеніе воды между 0 и 33° С. Опредѣленія объемовъ производились черезъ каждый градусъ, иногда даже въ меньшихъ растояніяхъ температуры. Употреблявшійся термометръ былъ тщательно провѣренъ и сравненъ съ водороднымъ термометромъ. Авторъ подчислилъ интерполяціонную формулу вида $V_t = V_0(1 - at + bt^2 + ct^3 + dt^4)$, выражающую съ точностію до нѣсколькихъ единицъ шестого знака расширеніе воды отъ 0 до 33°. Въ заключеніе Scheel даетъ таблицу плотностей воды (при $+4^0 = 1$) съ семью знаками для cadaго градуса, сравнивая свои цифры съ цифрами Thiesen'a и Marek'a; разногласіе достигаетъ единицы пятого знака, большею-же частію значительно меньше.

Здѣсь слѣдуетъ упомянуть еще о только что названныхъ наблюденіяхъ Thiesen'a. Оригиналъ⁴⁾ мнѣ былъ недоступенъ. Судя по таблицѣ Scheel'я, расширеніе воды имъ было опредѣлено столь-же точно какъ и этимъ наблюдателемъ. Плотности даны также съ семью знаками (при $+4^0 = 1$) между 0 и 31° по водородному термометру.

Наблюденія Kreitling'a⁵⁾ (1892) надъ тепловымъ расширеніемъ воды, произведенныя дилатометромъ, по достигнутой точности не уступаютъ измѣреніямъ только-что названныхъ наблюдателей. Опредѣленія произведены также между 0 и 33° и отнесены къ водородному термометру. Въ таблицѣ даны объемы воды съ шестью знаками (при $+4^0 = 1$) для cadaго градуса въ сравненіи со средними объемами изъ наблюденій Marek'a, Thiesen'a и Scheel'я. Разногласіе достигаетъ только одинъ разъ шести единицъ шестого знака (при 31°), въ большин-

1) W. Marek; Ausdehnung des Wassers; Wiedemanns Ann. 44 (1891), p. 171.

2) С. О. Макаровъ; Объ измѣненіи удѣльнаго вѣса морской воды; Журналъ Р. Ф. Х. Общ. 23 (1891), II, стр. 30.

3) Karl Scheel; Die Ausdehnung des Wassers mit der Temperatur; Wiedemanns Ann. 47 (1892), p. 440.

4) Thiesen; предварительное сообщеніе въ Rapport de la conférence générale des poids et mesures, Sept. 1889, pp. 111.

5) W. Kreitling; Die Ausdehnung des Wassers, des absoluten Alkohols und der Mischungen beider; Dissertation, Erlangen 1892; рефератъ въ Beiblätter zu Wiedemanns Ann. 18 (1894), p. 58.

ствѣ-же случаевъ не болѣе единицы того-же знака. Интерполяціонная формула того-же вида какъ у Scheel'я.

P. Chappuis публиковалъ двѣ работы, посвященныхъ изслѣдованію теплового расширенія воды между 0 и 40°. При своихъ наблюденіяхъ въ 1892 году¹⁾ авторъ пользовался стеклянымъ dilatометромъ особаго устройства, а при новѣйшихъ своихъ изслѣдованіяхъ, въ 1897 году²⁾, такимъ-же dilatометромъ, состоявшимъ отчасти изъ платино-иридія. Въ послѣдней работѣ авторъ сравниваетъ найденныя имъ плотности воды въ 1892 году съ новыми своими опредѣленіями. Наибольшее различіе составляютъ 35 единицъ седьмого знака, обыкновенно разное заключено въ 1 или 2 единицахъ шестого знака и меньше. Въ таблицѣ даны плотности для каждаго градуса съ семью знаками (при +4° = 1). Температуры по водородному термометру.

Въ своей классической работѣ надъ сжимаемостію и тепловымъ расширеніемъ газовъ и жидкостей при давленіяхъ отъ 1 до 3000 атмосферъ Amagat³⁾ (1893) изслѣдовалъ кромѣ нѣсколькихъ органическихъ жидкостей также и воду. Для послѣдней Amagat даетъ двѣ таблицы объемовъ: 1) между 0 и 100°, кромѣ того еще при 198°, при давленіяхъ отъ 1 до 1000 атм. и 2) между 0 и 48.85° при давленіяхъ отъ 1 до 3000 атм. Всѣ объемы даны съ пятью десятичными знаками, при чемъ объемъ при 0° и 1 атм. принятъ за единицу. Температуры измѣрялись до сотыхъ долей градуса и отнесены къ водородному термометру.

По методу сообщающихся сосудовъ, дѣлающему опредѣленіе расширенія жидкостей независимымъ отъ расширенія сосудовъ и примененному впервые для ртути Dulong и Petit, измѣряли въ Physikalisch-technische Reichsanstalt въ Берлинѣ M. Thiesen, K. Scheel и H. Diesselhorst тепловое расширеніе воды между 0 и 40°. Эти по достигнутой точности, благодаря старанію и неутомимому труду наблюдателей, располагавшихъ всѣми необходимыми средствами для устраненія всевозможныхъ недостатковъ, понынѣ никѣмъ не превзойденныя наблюденія были сообщены предварительно въ 1897 году⁴⁾, а опубликованы въ окончательномъ видѣ въ 1900 году⁵⁾. Таблица содержитъ плотности и объемы воды, данные съ семью знаками и отнесенные къ 1 при +3.98°. Температуры даны по водородному термометру.

Въ послѣднее время вышла относящаяся сюда обширная работа, произведенная по порученію нормальной провѣрочной комиссіи въ Берлинѣ F. Plato

1) P. Chappuis; Procès verbaux des séances de 1892 du Comité international des poids et mesures, p. 139.

2) P. Chappuis; Bestimmung der Ausdehnung des Wassers zwischen 0 und 40°; Wiedemanns Ann. 63 (1897), p. 202.

3) F. H. Amagat; Mémoires sur l'élasticité et la dilatation des fluides jusqu'aux très hautes pressions; Annales de chimie et de physique (VI) 29 (1893), pp. 68—176 et 505—574.

4) M. Thiesen, K. Scheel und H. Diesselhorst; Ueber eine absolute Bestimmung der Ausdehnung des Wassers; Wiedemanns Ann. 60 (1897), p. 340.

5) Wiss. Abhandlungen der Phys.-Techn. Reichsanstalt 3 (1900). Рефератъ: Beiblätter zu Wiedemanns Ann. 25 (1901), p. 13.

въ сообществѣ съ J. Domke и H. Harting надъ плотностію, расширеніемъ и капиллярностію водныхъ растворовъ чистаго тростниковаго сахара ¹⁾. Опредѣленія плотностей производились гидростатическими вѣсами между 0 и 60° С. Кромѣ растворовъ сахара изслѣдовано также расширеніе воды. При своихъ взвѣшиваніяхъ авторы приняли во вниманіе и старались образомъ наблюденій устранить всѣ сколько-нибудь значительные источники погрѣшностей, но такъ какъ температура держалась постоянной только до 0.1 градуса, то пятый знакъ послѣ запятой, который данъ въ таблицѣ плотностей, уже долженъ быть на единицу при 10°, а при 60° уже на 5 единицъ не вѣренъ. Въ приложенныхъ таблицахъ даны плотности воды для каждаго градуса, отнесенныя къ водѣ при + 15° С.

Разсмотрѣвъ лучшія работы по вопросу о тепловомъ расширеніи воды въ предѣлахъ температуры отъ 0 до 40 или 100°, вышедшія въ теченіи почти столѣтія, я привожу на слѣдующихъ страницахъ сводъ данныхъ названныхъ наблюдателей для интервала температуры отъ 0 до 40°, ограничивая сводъ пока потому, что въ этихъ предѣлахъ температуры достигнута въ настоящее время наибольшая точность числовыхъ данныхъ. Данныя-же отъ 30 до 80° сопоставлены ниже (табл. V) вмѣстѣ съ собственными опредѣленіями, которыя хорошо примыкаютъ между 30 и 40° къ послѣднимъ весьма точнымъ наблюденіямъ, произведеннымъ въ Physikalisch-technische Reichsanstalt въ Берлинѣ.

Въ таблицѣ I объемы даны съ тѣмъ количествомъ десятичныхъ знаковъ, которое счелъ нужнымъ примѣнить соотвѣтствующій авторъ. Въ столбцахъ подѣ Δ даны въ единицахъ шестого знака разности объемовъ рассматриваемаго автора противъ объемовъ, полученныхъ по абсолютному методу сообщающихся сосудовъ въ послѣднее время Thiesen-Scheel-Diesselhorst'омъ (см. послѣдній столбецъ). Относительно отдѣльныхъ авторовъ нужно еще замѣтить слѣдующее: Такъ какъ Bischof даетъ температуры по Réaumur'у, то я выбралъ изъ его таблицы плотности воды для такихъ температуръ, которыя соотвѣтствуютъ обозначеннымъ въ моей таблицѣ температурамъ по Celsius'у, отнесъ ихъ къ 1 при 0° и перечислилъ на объемы. Объемы Pierre'a даны въ томъ видѣ, какъ ихъ подсчиталъ Frankenheim ²⁾. За исключеніемъ числовыхъ данныхъ Muncke, Karsten'a, Kopp'a, Gerlach'a, Jolly и Amagat, взятыхъ безъ измѣненій у авторовъ, всѣ остальные данныя были перечислены на 1 при 0° и отчасти на объемы; при этомъ для сведенія объемовъ Matthiessen'a на 0°, который объема воды при этой температурѣ не даетъ, взято было число Thiesen'a (1.000127).

1) F. Plato, J. Domke und H. Harting; Die Dichte, Ausdehnung und Kapillarität von Lösungen reinen Rohrzuckers in Wasser; Wiss. Abhandlungen d. K. Normal-Aichungs-Kommission, Heft II (1900). J. Springer. Berlin.

2) Pogg. Ann. 162 (1852), p. 451.

**I. Сводъ наблюдений надъ расширеніемъ воды
между 0° и 40°.**

Объемъ при 0° принять = 1. — Давленіе = 1 атм.

Темпера- туры.	Bischof.	△	Hällström.	△	Muncke.	△
	Гидр. вѣсы. 1810		Гидр. вѣсы. 1824		Дилатом. 1831	
5°	0.99976	+ 115.8	0.9998968	- 21.0	0.9999042710	- 28.4710
10	1.000183	- 42.4	1.0001094	+ 31.2	1.0001588272	- 18.2...
15	1.0008	- 58.1	1.0006273	+ 114.6	1.0007657311	- 23.8...
20	1.001634	+ 6.2	1.0014406	+ 199.6	1.0016007439	+ 39.5...
25	1.00267	+ 135.0	1.0025398	+ 265.2	1.0027746269	+ 30.4...
30	1.003893	+ 319.6	1.0039160	+ 296.6	1.0041563995	+ 56.2...
35	1.0053	+ 544.5	—	—	1.0056862924	+ 158.2...
40	1.0006971	+ 715.0	—	—	1.0074831356	+ 202.9...
Темпера- туры.	Stampfer.	△	Despretz.	△	Pierre.	△
	Гидр. вѣсы. 1831		Дилатом. 1839		Дилатом. 1845	
5°	0.999899	- 23.2	0.9998813	- 5.5	0.9998903	- 14.5
10	1.000176	- 35.4	1.0001415	- 0.9	1.0001482	- 7.6
15	1.000793	- 51.1	1.0007481	- 6.2	1.0007275	+ 14.4
20	1.001709	- 68.8	1.00166	- 19.8	1.0015940	+ 46.2
25	1.002892	- 87.0	1.00280	+ 5.0	1.0027075	+ 97.5
30	1.004304	- 91.4	1.00420	+ 12.6	1.0040710	+ 141.6
35	1.005918	- 73.5	1.00580	+ 44.5	1.0056770	+ 167.5
40	1.007699	- 13.0	1.00760	+ 86.0	1.0075120	+ 174.0
Темпера- туры.	Karsten.	△	Kopp.	△	Hagen.	△
	Гидр. вѣсы. 1846		Дилатом. 1847		Гидр. вѣсы. 1855	
5°	0.999896	- 20.2	0.999883	- 7.2	0.9998830	- 7.2
10	1.000145	- 4.4	1.000124	+ 16.6	1.0001423	- 1.7
15	1.000721	+ 20.9	1.000695	+ 46.9	1.0007226	+ 19.3
20	1.001600	+ 40.2	1.001567	+ 73.2	1.0015943	+ 45.9
25	1.002755	+ 50.0	1.002715	+ 90.0	1.0027338	+ 71.2
30	1.004165	+ 47.6	1.004064	+ 148.6	1.0041229	+ 89.7
35	1.005805	+ 39.5	1.005697	+ 147.5	1.005744	+ 100.5
40	1.007651	+ 35.0	1.007531	+ 155.0	1.007583	+ 103.0

Температура.	Gerlach. Дилатом. 1859	△	Jolly. Дилатом. 1864	△	Matthiessen. Гидр. вѣсы. 1866	△
5°	0.999839	+ 36.8	0.999880	- 4.2	0.999879	- 3.2
10	1.000115	+ 25.6	1.000128	+ 12.6	1.000144	- 3.4
15	1.00070	+ 41.9	1.000720	+ 21.9	1.000765	- 23.1
20	1.00160	+ 40.2	1.001605	+ 35.2	1.001687	- 46.8
25	1.00275	+ 55.0	1.002729	+ 76.0	1.002855	- 50.0
30	1.00415	+ 62.6	1.004107	+ 105.6	1.004217	- 4.4
35	1.00575	+ 94.5	1.005700	+ 144.5	1.005788	+ 56.5
40	1.00758	+ 106.0	1.007500	+ 186.0	1.007602	+ 84.0
Температура.	Rossetti. Дилатом. 1868	△	Marek. Гидр. вѣсы. 1891	△	Макаровъ. Ареометръ. 1891	△
5°	0.999870	+ 5.8	0.9998848	- 9.0	0.999887	- 11.2
10	1.000110	+ 30.6	1.0001441	- 3.5	1.000141	- 0.4
15	1.000697	+ 44.9	1.0007426	- 0.7	1.000725	+ 16.9
20	1.001606	+ 34.2	1.0016457	- 5.5	1.001606	+ 34.2
25	—		1.0028168	- 11.8	1.002749	+ 56.0
30	1.004138	+ 74.6	1.0042230	- 10.4	1.004121	+ 91.6
35	—					
40	1.007601	+ 85.0				
Температура.	Scheel. Дилатом. 1892	△	Thiesen. Гидр. вѣсы. 1892	△	Kreitling. Дилатом. 1892	△
5°	0.9998830	- 7.2	0.9998780	- 2.2	0.999880	- 4.2
10	1.0001439	- 3.3	1.0001401	+ 0.5	1.000142	- 1.4
15	1.0007407	+ 1.2	1.0007412	+ 0.7	1.000740	+ 1.9
20	1.0016378	+ 2.4	1.0016404	- 0.2	1.001638	+ 2.2
25	1.0028049	+ 0.1	1.0028029	+ 2.1	1.002807	- 2.0
30	1.0042184	- 5.8	1.0042147	- 2.1	1.004221	- 8.4
35						
40						

Температура.	Amagat. Піезометръ. 1893	Δ	Chappuis. Дилатом. 1897	Δ	Plato, Domke, Harting. Гидр. вѣсы. 1900	Δ	Thiesen, Scheel u. Diesselhorst. Сообщ. сосуд. 1900
5°	0.99988	- 4.2	0.9998756	+ 0.2	0.99988	- 4.2	0.9998758
10	1.00014	+ 0.6	1.0001402	+ 0.4	1.00014	+ 0.6	1.0001406
15	1.00074	+ 1.9	1.0007395	+ 2.4	1.00074	+ 1.9	1.0007419
20	1.00164	+ 0.2	1.0016375	+ 2.7	1.00164	+ 0.2	1.0016402
25	—		1.0028030	+ 2.0	1.00281	- 5.0	1.0028050
30	1.00421	+ 2.6	1.0042101	+ 2.5	1.00421	+ 2.6	1.0042126
35	—		1.0058398	+ 4.7	1.00585	- 5.5	1.0058445
40	1.00757	+ 116.0	1.0076798	+ 6.2	1.00760	+ 86.0	1.0076860

Первое, что въ таблицѣ I бросается въ глаза, это характеръ разностей; оказывается, что большая часть наблюдателей дѣлала ошибки преимущественно въ одномъ какомъ-нибудь направленіи, только у Bischof'a, Muncke и Despretz объемы градусовъ до 15 или 20 велики, а далѣе до 40° подрядъ малы.

Ясно выступаетъ затѣмъ постепенное уменьшеніе разностей по мѣрѣ приближенія къ даннымъ новѣйшаго времени. Отклоненія, достигающія у Bischof'a и Hällström'a еще до семи и трехъ единицъ четвертаго знака, колеблются въ концѣ шестидесятыхъ годовъ уже въ единицахъ пятаго знака, а съ 1892 года почти исключительно въ нѣсколькихъ единицахъ только шестого знака. Въ этомъ отношеніи выходятъ однако изъ ряда весьма точныя для своего времени (1839) опредѣленія Despretz, которыя показываютъ отклоненія въ половинѣ случаевъ только въ шестомъ, въ остальныхъ-же случаяхъ, за исключеніемъ 40°, на 1 до 4 единицъ пятаго знака. Послѣ Karsten'a опредѣленія Kopp'a, Hagen'a и особенно Jolly показываютъ какъ бы шагъ назадъ, такъ какъ отклоненія здѣсь снова возрастаютъ, заходя опять въ четвертый десятичный знакъ. То-же должно сказать и объ опредѣленіяхъ Макарова (1891), которыя невыгодно выдаются между данными Marek'a и Scheel'я. Объемы Amagat и Chappuis, принадлежа къ лучшимъ, одинаковы по достигнутой точности, если не считать выходящей изъ ряда погрѣшности у Amagat при 40°; къ нимъ присоединяются опредѣленія Plato-Domke-Harting'a съ той-же особенностію при 40°; должно однако упомянуть, что у Amagat и Plato etc. данныя ограничены пятью знаками. Наилучшими опредѣленіями являются подлѣ Thiesen-Scheel-Diesselhorst'a опредѣленія Thiesen'a, а затѣмъ Scheel'я и Kreitling'a. Кромѣ того, что разногласіе здѣсь заключается въ немногихъ единицахъ только шестого, иногда и только седьмого знака, отклоненія происходятъ безъ всякой правильности то въ положительную, то въ отрицательную сторону, между тѣмъ какъ у Chappuis видна еще небольшая постоянная погрѣшность, всѣ его объемы нѣсколько малы.

Я не буду входить въ разсмотрѣніе образа наблюденій различныхъ авторовъ, обусловливавшаго названнаго погрѣшности, а укажу на статью P. Volkmann'a¹⁾, занимающуюся этимъ предметомъ; при этомъ я долженъ однако сказать, что, между тѣмъ какъ я на основаніи сравненія результатовъ отношу объемы Despretz къ лучшимъ своего времени, Volkmannъ приписываетъ наблюденіямъ этого автора мало вѣса, главнымъ образомъ потому, что Despretz повидимому не для каждаго своего дилатометра опредѣлилъ расширеніе стекла, по крайней мѣрѣ онъ не упоминаетъ объ этомъ особенно. Утвержденію этого мнѣнія должно было конечно способствовать и то обстоятельство, что объемы Despretz сильно уклоняются отъ объемовъ Pierre'a, Hagen'a и Kopp'a, болѣе согласныхъ между собой. На замѣчаніе Matthiessen'a, что его объемы близки къ объемамъ Despretz, Volkmannъ ссылается на то, что въ основу опредѣленій послѣдняго автора положены старыя значенія Dulong и Petit для расширенія ртути. Rossetti выбирается Volkmann'омъ совершенно изъ свода по причинѣ ошибочнаго опредѣленія объемовъ своего дилатометра.

Благодаря замѣчательнымъ по своей точности изслѣдованіямъ послѣдняго времени, объемы воды въ предѣлахъ отъ 0 до 30° по водородному термометру намъ теперь извѣстны съ погрѣшностію, не превышающей 2 или 3 единицъ шестого знака, или съ точностію, соответствующей 0.01° до 0.03°.

Термостатъ.

Приступая къ подготовкѣ измѣреній тепловаго расширенія, я долженъ былъ сначала построить термостатъ, который давалъ бы возможность держать температуру постоянной до 0.01° въ теченіи около получаса. По совѣту г-на профессора Г. Г. Тамманъ я тотчасъ-же приступилъ къ устройству пароваго термостата, такъ какъ построеніе жидкостнаго термостата, отвѣчавшаго бы названнымъ условіямъ, являлось въ виду тщетныхъ попытокъ многихъ наблюдателей безнадежнымъ. Много труда и времени пришлось потратить, прежде чѣмъ удалось наконецъ достигнуть желаемой цѣли. Въ окончательномъ видѣ этотъ термостатъ состоялъ въ главныхъ чертахъ въ слѣдующемъ. Черезъ вертикально поставленную стеклянную трубку такихъ размѣровъ, чтобы въ ней могли свободно помѣститься два дилатометра, проводился изъ мѣднаго котла, плотно связаннаго съ этою трубкой посредствомъ боковой трубки, паръ этиловаго спирта, который затѣмъ проходилъ въ холодильникъ, откуда онъ сгустившись попадалъ обратно въ мѣдный котель. Замкнутое въ себѣ пространство въ термостатѣ сообщалось посредствомъ боковой трубки, примыкавшей къ термостату на сторонѣ холодильника, съ пустымъ резервуаромъ, закрытымъ ртутнымъ манометромъ и воздушнымъ, дѣйствующимъ при помощи водяной струи насосомъ. Насосъ разобщался отъ остального аппарата

1) Paul Volkmann; Zu den bisherigen Beobachtungen der Ausdehnung des Wassers durch die Wärme; Wiedemanns Ann. 14 (1881), p. 260.

посредствомъ двухъ стеклянныхъ крановъ. Это устройство давало возможность, выкачивая или впуская по мѣрѣ надобности воздухъ въ термостатъ, кипятить спиртъ при различныхъ постоянныхъ давленіяхъ и проводить такимъ образомъ черезъ термостатъ пары его въ предѣлахъ температуры отъ 25 до 80°. Пустой резервуаръ между термостатомъ и манометромъ служилъ газовой пружиной, смягчавшей толчки, исходящія отъ кипящей жидкости, настолько, что при равномерномъ кипѣніи чувствительный термометръ, помѣщенный въ термостатъ, уже не показывалъ больше колебаній температуры, вызываемыхъ въ парахъ этими толчками. Нижняя часть широкой трубки, въ которой помѣщались дилатометры, была снабжена латунной оправой, позволявшей вводить отсюда штативъ съ дилатометрами и затѣмъ наглухо посредствомъ винтовъ закрывать это отверстіе латунной-же крышкой. Главная трубка термостата, пустой резервуаръ и мѣдный котель были соответствующимъ образомъ изолированы отъ тепловаго обмѣна съ окружающими тѣлами. Притокъ газа, служившаго для нагрѣванія котла, регулировался особымъ регуляторомъ. Рядъ наблюденій показалъ, что во время равномернаго кипѣнія температура въ главной трубкѣ термостата, измѣрявшаяся въ различныхъ разстояніяхъ отъ основанія, была всюду одинакова.

Дилатометры

были устроены слѣдующимъ образомъ: къ цилиндрическому стекляному на обоихъ концахъ суженному сосуду была съ одной стороны въ направленіи оси сосуда припаяна прямая стекляная, снабженная дѣлениями трубка (измѣрительная трубка), съ другой-же стороны стекляный капилляръ, который недалеко отъ спая былъ загнутъ обратно, такъ что онъ, пройдя мимо сосуда, шелъ параллельно съ измѣрительной трубкой и оканчивался на небольшомъ разстояніи выше сосуда (наполнительная трубка). Измѣрительная трубка имѣла надъ сосудомъ 20 или 30 дѣленій, затѣмъ грушеобразное расширеніе, за которымъ шли снова дѣленія до конца ея; здѣсь она сообщалась снова съ цилиндрическимъ, подобнымъ нижнему сосудомъ и послѣдній оканчивался короткой трубкой.

Расширеніе измѣрительной трубки недалеко отъ нижняго сосуда служило для воспріянія жидкости при расширеніи ея отъ 0° до приблизительно 30°. Верхній сосудъ надъ измѣрительной трубкой служилъ, такъ какъ дилатометры съ обоихъ концовъ запаивались, для того, чтобы, увеличивъ свободный объемъ воздуха надъ расширявшейся жидкостію, уменьшить возрастаніе давленія въ дилатометрѣ отъ сжатія воздуха. Чтобы однако въ то-же время не имѣть обильнаго испаренія жидкости въ пространство верхняго сосуда, особенно при высокихъ температурахъ, сообщеніе измѣрительной трубки съ пространствомъ этого расширенія происходило черезъ впаянную въ этотъ сосудъ φ -образную трубку, въ которой помѣщалась капля ртути. Измѣрительная трубка была снабжена дѣленіемъ на мм., вытравленнымъ въ стеклѣ. На свободномъ концѣ наполнительной трубки было нанесено 60 равномерныхъ дѣленій длиною въ 1,5 мм. каждое.

Измѣрительныя трубки были приготовлены изъ выбранныхъ стеклянныхъ трубокъ, калибръ которыхъ при предварительной провѣркѣ его оказался особенно равномернымъ. Послѣ нанесенія дѣлений, что производилось на дѣлительной машинѣ, эти трубки тщательно калибровались по методу Hällström'a¹⁾. Затѣмъ припаивался сосудъ съ наполнительной трубкой и опредѣлялась емкость всѣхъ частей дилатометра посредствомъ взвѣшиванія ртути; наконецъ припаивался еще верхній сосудъ, емкость котораго также опредѣлялась. Замѣчу еще, что измѣрительныя трубки послѣ обработки на паяльникѣ держались, прежде чѣмъ калибровать ихъ, не менѣе 3 сутокъ во льду, а готовые дилатометры послѣ спайки, до опредѣленія емкости, сохранялись съ незначительными перерывами 6 или 7 сутокъ во льду, пока помѣщенная въ нихъ ртуть не показывала больше повышенія мениска въ измѣрительной трубкѣ. Когда послѣ долгаго употребленія дилатометровъ снова бѣла опредѣлена емкость ихъ сосудовъ, то оказалось, что измѣненіе ея не превышало погрѣшностей при этихъ опредѣленіяхъ.

Только емкость сосуда вмѣстѣ съ наполнительной трубкой опредѣлялась при 0°, емкость-же остальныхъ частей, а также и части наполнительной трубки, снабженной дѣленіями, опредѣлялась при комнатной температурѣ и перечислялась затѣмъ на 0° при помощи средняго коэффициента видимаго расширенія ртути въ стеклѣ²⁾.

При взвѣшиваніяхъ употреблялись исправленныя разновѣски и производилась конечно поправка на пустоту.

Такъ какъ послѣ наполненія дилатометровъ и опредѣленія высоты жидкости при 0° я ихъ, до введенія въ термостатъ, запаивалъ, то являлась необходимость ввести въ послѣдствіи поправку на давленіе въ дилатометрахъ, тѣмъ болѣе, что разность въ давленіи внутри дилатометра и внѣ его, въ термостатѣ, достигала одной атмосферы и поэтому временнымъ измѣненіемъ емкости дилатометра нельзя было пренебречь. Это измѣненіе емкости дилатометровъ подъ вліяніемъ давленія опредѣлялось посредствомъ прямого опыта. Наполнивъ дилатометры разъ ртутью, а затѣмъ водой и помѣстивъ ихъ во льду, я опредѣлялъ пониженіе жидкости въ нихъ подъ вліяніемъ давленія ртутнаго столба опредѣленной высоты. На основаніи этихъ опытовъ подсчиталось, за вычетомъ сжатія жидкости³⁾ въ дилатометрѣ, расширеніе дилатометровъ отъ давленія.

Всѣ емкости частей дилатометра, а равно и поправки выражались въ единицахъ емкости одного дѣленія измѣрительной трубки (α_0).

1) Ueber die Correction der Thermometer, insbesondere über Bessels Kalibrir-Methode. Dissertation. Arth. von Oettingen. Dorpat 1865.

2) По Regnault [см. Müller-Pouillet's Lehrb. d. Physik, II, 2 (Wärme), p. 78; Braunschweig 1898] этотъ коэфф. колеблется въ крайнихъ предѣлахъ отъ 0.0₃1535 до 0.0₃1625. По подсчету неувѣренность въ емкости всей измѣрительной трубки была бы въ этихъ крайнихъ случаяхъ не больше 0.08 одного дѣленія ея; поэтому былъ взятъ средній коэфф. 0.0₃157.

3) См. Landolt-Börnstein, Physikalisch-chemische Tabellen. 2. Aufl. Berlin, J. Springer. 1894.

Определение температуры

производилось посредством нормального ртутного термометра, приготовленного Füß'омъ въ Берлинѣ изъ іенскаго стекла („Einschluss-Thermometer“) и сравненнаго съ газовымъ термометромъ въ „Physikalisch-technische Reichsanstalt“. Шкала термометра простиралась отъ 0 до 100°. Градусъ былъ раздѣленъ на десятыя доли, длина которыхъ равнялась 0.4 мм., такъ что, пользуясь зрительной трубой, возможно было отчитывать сотыя доли градуса. Послѣ многочисленныхъ нагрѣваній и охлажденій, которымъ подвергался термометръ при опытахъ съ термостатомъ, я снова опредѣлилъ постоянныя точки, калибровалъ его по Hällström'у¹⁾, опредѣлилъ вліянія наружнаго и внутренняго давленія, приниженіе нулевой точки послѣ нагрѣванія до 100° и, введя по этимъ наблюденіямъ всѣ необходимыя поправки, относилъ на основаніи аттестата „Phys.-techn. Reichsanstalt“ показанія этого термометра къ газовому термометру. При этомъ я слѣдовалъ тѣмъ правиламъ при опредѣленіи и подчисленіи поправокъ для ртутныхъ термометровъ, которые теперь общеприняты и изложены у Guillaume²⁾, Winkelmann³⁾, Pernet, Jäger und Gumlich⁴⁾ и др. Такимъ образомъ мои данныя температуръ представляютъ съ погрѣшностью $\pm 0.01^\circ$ показанія газового термометра.

Определение теплового расширенія дилатометровъ.

Такъ какъ тепловое расширеніе стекла мѣняется не только съ измѣненіемъ состава но и съ измѣненіями формы и образа обработки его⁵⁾, а также принятіе постоянства коэффиціента расширенія между 0 и 100° при болѣе точныхъ работахъ недопустимо, напротивъ, этотъ коэффиціентъ съ температурой возрастаетъ, то я опредѣлилъ для каждаго своего дилатометра посредствомъ ряда наблюденій налѣ расширеніемъ въ нихъ ртути черезъ каждыя 5 или 10 градусовъ⁶⁾ ихъ коэфф. расширенія между 30 и 80°. Чистая высушенная въ вакуумъ-экссиккаторѣ ртуть всасывалась черезъ капиллярную дополнительную трубку въ нагрѣтый до прибол. 70° дилатометръ, причемъ, благодаря медленному протеканію ртути черезъ этотъ капилляръ, возможно было сильно разрѣдить воздухъ въ дилатометрѣ. При этихъ условіяхъ ртуть съ чистой зеркальной поверхностію прилегала къ стеклу и удалялся весь воздухъ, остающійся нерѣдко между стекломъ и ртутью. Наполнивъ такимъ образомъ дилатометръ до начала дѣленій измѣрительной трубки ртутью, я, не разобщая дилатометра съ ртутнымъ резервуаромъ, охлаждалъ его

1) См. стр. 15.

2) *Traité pratique de la thermométrie de précision.* Paris 1889.

3) *A. Winkelmanns Handb. der Physik, II., 2* (1896).

) *Zeitschr. für Instrumentenkunde, 15* (1895).

5) См. сводъ различныхъ опредѣленій Regnault въ Müller-Pouillet's *Lehrbuch der Physik und Meteorologie, II, 2, стр. 77 и 78.* Braunschweig 1898, 9-ое издание.

6) Только у одного изъ трехъ дилатометровъ были допущены скачки температуры въ 16 и 21°.

до 0° и, отнявъ приводящую ртуть трубку, запаивалъ конецъ наполнительной трубки, такъ что въ наполнительной трубкѣ надъ ртутью оставалось небольшое количество воздуха, и высоту столба ртути возможно было отчесть на дѣленіи этой трубки. Затѣмъ дилатометръ держался непрерывно во льдѣ и производились ежедневно отчеты высоты ртути въ измѣрительной и наполнительной трубкѣ. На третьи сутки повышеніе мениска ртути въ измѣрительной трубкѣ и слѣдовательно вліяніе термическаго послѣдствія въ стеклѣ дилатометра обыкновенно прекращалось. Послѣ этого и верхній конецъ дилатометра, сосудъ котораго при этомъ оставался погруженнымъ въ ледъ, запаивался, причемъ отмѣчались высота ртути въ обѣихъ трубкахъ, температура воздуха въ дилатометрѣ надъ ртутью (посредствомъ небольшого термометра, висѣвшаго подлѣ измѣрительной трубки дилатометра) и высота барометра. Наконецъ дилатометръ помѣщался рядомъ съ нормальнымъ термометромъ въ отвѣсномъ положеніи въ термостатѣ, изъ послѣдняго выкачивался воздухъ и производились наблюденія при высшихъ температурахъ, начиная съ приблизительно 30° . Равновѣсіе температуры считалось достигнутымъ, если въ теченіи 15 или 20 минутъ установка дилатометра и температура не измѣнялись; тогда отмѣчались отчеты термометра и обѣихъ трубокъ дилатометра и давленіе въ термостатѣ. Всѣ отчеты термометра и дилатометра (до 0,1 дѣленія) производились посредствомъ зрительной трубы катетометра.

При подчисленіи наблюденій въ отчеты измѣрительной трубки дилатометра вводилась поправка на калибръ, на перемѣщеніе жидкости въ наполнительной трубкѣ, на измѣненіе емкости дилатометра и сжатіе жидкости отъ давленія въ немъ, при чемъ принималось въ расчетъ, кромѣ давленія воздуха въ дилатометрѣ, также давленіе столба ртути въ немъ. Выраженные наконецъ въ единицахъ дѣленія измѣрительной трубки (α_0) видимые объемы ртути сводились къ 1 при 0° .

Дѣйствительные объемы ртути для соответственныхъ температуръ я взялъ изъ таблицы Broch'a, подчисленной по измѣреніямъ Regnault и помѣщенной въ таблицахъ Landolt и Börnstein¹⁾.

На основаніи этихъ данныхъ подчислялись коэффициенты тепловаго расширенія стекла дилатометра слѣдующимъ образомъ: Если W_t обозначаетъ видимый, а V_t дѣйствительный объемъ ртути при температурѣ t и g коэфф. расширенія стекла, то мы имѣемъ:

$$V_t = W_t (1 + gt), \text{ откуда } g = \frac{V_t - W_t}{W_t t}.$$

Полученные коэфф. оказались возрастающими съ температурой и различными для всѣхъ трехъ дилатометровъ, которыми я пользовался для опредѣленія расширенія воды, а именно:

1) Physikalisch-chemische Tabellen von Landolt und Börnstein, 2. Aufl., Berlin, J. Springer, 1894, p. 41.

Дилат. № 2.			Дилат. № 2а.			Дилат. № 3.					
Отъ	до	g	Отъ	до	g	Отъ	до	g			
0°	30.28°	0.0 ₄ 2643	0°	29.82°	0.0 ₄ 2797	0°	30.13°	0.0 ₄ 2778			
"	0°	36.73°	2664	"	0°	35.12°	2826	"	0°	40.11°	2802
"	0°	37.27°	2662	"	0°	40.33°	2826	"	0°	50.05°	2808
"	0°	37.47°	2667	"	0°	45.11°	2836	"	0°	60.15°	2843
"	0°	58.33°	2688	"	0°	50.12°	2855	"	0°	70.00°	2862
"	0°	74.14°	2698	"	0°	55.29°	2859	"	0°	79.95°	2861
				"	0°	60.03°	2865				
				"	0°	65.08°	2864				
				"	0°	70.11°	2866				
				"	0°	74.97°	2871				
				"	0°	78.99°	2873				

По этимъ даннымъ для каждаго дилатометра была построена непрерывная кривая, на которой отчитывались впоследствии коэфф. для требующейся температуры, округляя ихъ 7-ью десятичными знаками. Нѣкоторые наблюдатели, какъ напр. Plücker и Geissler, Muncke, Gerlach, Hagen, Kremers, вводили въ свои наблюденія ошибки, принимая коэфф. расширения стекла между 0 и 100° постояннымъ. Это допущеніе обуславливаетъ погрѣшности на объемахъ въ нѣсколько единицъ пятого десятичнаго знака.

Опредѣленія теплового расширения воды.

Надъ расширеніемъ воды было произведено три ряда наблюденій въ трехъ различныхъ дилатометрахъ. Дилатометръ № 2 имѣлъ сосудъ емкостью около 46 куб. см.; α_0 этого дилатометра составляло 0.0₅63 часть емкости сосуда. Емкость одного дѣленія наполнительной трубки (обозначимъ ее черезъ z_0) равнялась 0.405 α_0 .

Дилатометръ № 2а имѣлъ сосудъ емкостью около 10 куб. см.; $\alpha_0 = 0.0_4$ 290 емкости сосуда, а $z_0 = 0.270 \alpha_0$. Верхняя часть измѣрительной трубки этого дилатометра была снабжена, чтобы увеличить ея емкость, двумя расширениями, расположенными между дѣленій измѣрительной трубки.

Наконецъ вмѣстимость сосуда дилатометра № 3 была около 12 куб. см., $\alpha_0 = 0.0_4$ 258 сосуда и $z_0 = 0.255 \alpha_0$.

Для наблюденій взята была дистиллированная вода, приготовляемая въ лабораторіи. Вода эта имѣла нейтральную реакцію и не содержала амміачныхъ солей; послѣ выпариванія въ платиновой чашкѣ было получено на 100 грамм. воды 0.2 миллиграмма сухого остатка; этотъ остатокъ, растворенный въ нѣсколькихъ капляхъ той-же воды, давалъ едва замѣтную кислую реакцію и по подкисленіи соляной кислотой и прибавленіи хлористаго барія слабое помутненіе. Кальція и соляной кислоты не оказалось.

Такъ какъ длина измѣрительныхъ трубокъ дилатометровъ была недостаточна для опредѣленія расширения воды во всемъ интервалѣ температуры отъ 0 до 80°, то необходимо было по мѣрѣ надобности удалять изъ сосуда небольшую

часть жидкости, продолжая наблюдёнія въ дилатометрѣ, измѣрительная трубка котораго была теперь уже смочена. Это послѣднее обстоятельство требовало введеніе поправки. Величину этой поправки я опредѣлилъ для каждаго дилатометра; для этой цѣли я, доведя воду до конца дѣленій измѣрительной трубки, возвращался снова къ начальной температурѣ (около 30°). Полученное такимъ образомъ, выраженное въ α_0 , количество оставшейся на стѣнкахъ измѣрительной трубки воды я рассчитывалъ затѣмъ пропорціонально числу смоченныхъ дѣленій трубки. Только изъ дилатометра № 2, чувствительность котораго была значительно больше двухъ другихъ, приходилось при наблюдёніяхъ между 30 и 80° отнимать восемь разъ части воды, съ двумя другими это дѣлалось только одинъ разъ. Замѣчу еще, что размѣры дилатометра № 2а, дѣлительная трубка котораго, какъ уже было сказано, имѣла въ верхней части два расширенія, были рассчитаны такъ, что при второй серіи наблюдёній, въ трубкѣ уже смоченной, наблюдёнія эти оканчивались до вступленія жидкости въ расширенія, такъ какъ названная поправка въ области расширенія измѣрительной трубки оказалась сомнительной.

Предназначенная для опыта вода помѣщалась въ особомъ стеклянномъ баллонѣ, въ которомъ она для удаленія раствореннаго воздуха кипятилась подъ умѣньшеннымъ давленіемъ и охлаждалась до 0°, затѣмъ въ баллонъ впускался воздухъ и вода тотчасъ-же всасывалась въ окруженный льдомъ сосудъ дилатометра. По окончаніи всасыванія наполнительная трубка запаивалась, въ φ -трубку верхняго сосуда вводилась капля ртути и закрытый и сверху и погруженный въ ледь дилатометръ сохранялся на ледникѣ, при чемъ ежедневно производились наблюдёнія высоты жидкости въ обѣихъ трубкахъ до окончанія термическаго послѣдствія въ стеклѣ. При наблюдёніяхъ, которые производились въ комнатѣ лабораторіи, верхнее отверстіе дилатометра для выравниванія давленія въ дилатометрѣ открывалось. Наконецъ запаивалось и верхнее отверстіе дилатометра при тѣхъ-же условіяхъ, которые уже были описаны на стр. 17, и производились наблюдёнія въ термостатѣ. Всегда обращалось вниманіе на то, чтобы во время наблюдёній дилатометръ и термометръ находились въ отвѣсномъ положеніи.

Наблюдёнія производились обыкновенно черезъ каждые пять градусовъ и продолжались для каждой температуры не менѣе 20 минутъ. Привожу здѣсь для примѣра рядъ наблюдёній, произведенныхъ съ дилатометромъ № 3:

II. Отчеты

Термометра.	Измѣритель- ной трубки.	Наполнитель- ной трубки.	Манометра. Давленіе въ см.	Термометра при манометрѣ.
0.00°	23.1	58.2	—	—
33.45	40.9	58.5	9.4	17.6°
39.02	112.1	58.5	12.7	17.6
44.65	193.2	58.5	16.9	17.8
50.03	279.0	58.5	22.1	17.8
55.12	367.1	58.6	28.0	15.3
60.22	462.2	58.6	35.3	16.8
65.00	557.1	58.6	43.7	16.8

Послѣ удаленія части жидкости:

Термометра.	Измѣритель- ной трубки.	Наполнитель- ной трубки.	Манометра. Давленіе въ см.	Термометра при манометрѣ.
64.92	73.0	57.8	43.5	16.8
70.05	181.2	57.7	54.3	16.8
75.25	296.6	57.6	67.0	16.9
80.04	407.9	57.6	80.6	17.3

При подчисленіи наблюденій надъ расширеніемъ воды вводилась, кромѣ поправокъ, перечисленныхъ уже на стр. 17, еще поправка на смоченную измѣрительную трубку, затѣмъ при вычисленіи давленія въ дилатометрѣ принималось также въ расчетъ и давленіе паровъ воды при соотвѣствующихъ температурахъ. Наконецъ видимые относительные (при $0^0 = 1$) объемы воды перечислялись на дѣйствительные по формулѣ, приведенной уже на стр. 17.

III. Сводъ наблюденныхъ и полученныхъ отчетами по кривой объемовъ воды.

Температуры по воздушному термометру. — Давленіе = 1 атм.

Темпера- туры.	Объемы воды.		Разность набл.-крив.	Темпера- туры.	Объемы воды.		Разность Набл.-крив.
	Наблюденіе.	Кривая.			Наблюденіе.	Кривая.	
0.00 ⁰	1.000000	1.000000	0.0 ₀ 00	59.40 ⁰	1.016588 ^o	1.016593	— 05
30.00	1.004212 [△]	1.004214	— 02	60.24	1.017024 [□]	1.017037	— 13
33.31	1.005263 [△]	1.005263	00	60.52	1.017185 [△]	1.017190	— 05
33.56	1.005338 [□]	1.005345	— 07	60.57	1.017210 [△]	1.017217	— 07
34.01	1.005500 ^o	1.005497	+ 03	64.34	1.019266 ^o	1.019280	— 14
37.41	1.006700 [△]	1.006682	+ 18	64.90	1.019592 [□]	1.019593	— 01
37.59	1.006763 [△]	1.006753	+ 10	64.96	1.019629 [△]	1.019626	+ 03
39.12	1.007327 [□]	1.007337	— 10	64.98	1.019635 [□]	1.019637	— 02
39.30	1.007411 ^o	1.007400	+ 11	65.08	1.019696 [△]	1.019696	00
44.22	1.009389 [△]	1.009377	+ 12	69.44	1.022206 [△]	1.022207	— 01
44.25	1.009400 [△]	1.009386	+ 14	69.50	1.022240 [△]	1.022243	— 03
44.73	1.009588 [□]	1.009587	+ 01	70.05	1.022568 [□]	1.022573	— 05
44.84	1.009644 ^o	1.009638	+ 06	71.54	1.023457 ^o	1.023460	— 03
49.92	1.011898 ^o	1.011906	— 08	71.87	1.023649 ^o	1.023660	— 11
49.96	1.011927 [△]	1.011925	+ 02	73.88	1.024899 [△]	1.024900	— 01
50.08	1.011980 [△]	1.011983	— 03	73.96	1.024947 [△]	1.024950	— 03
	1.011967 [□]		— 16	75.22	1.025739 [□]	1.025740	— 01
55.10	1.014371 ^o	1.014384	— 13	75.76	1.026046 ^o	1.026083	— 37
55.16	1.014402 [□]	1.014416	— 14	77.77	1.027366 [△]	1.027370	— 04
55.44	1.014559 [△]	1.014553	+ 06	79.98	1.028802 [□]	1.028808	— 06
55.54	1.014607 [△]	1.014603	+ 04	80.04	1.028810 ^o	1.028855	— 45

△ = дилат. № 2; o = дилат. № 2а; □ = дилат. № 3.

Полученныя значенія объемовъ были для графической интерполяціи нанесены на миллиметровой бумагѣ. Температуры отмѣчались на оси абсциссъ ($0^{\circ}.1 = 1$ мм.), а объемы на оси ординатъ ($0.0_41 = 1$ мм.). По полученнымъ точкамъ была построена непрерывная кривая при помощи гибкой деревянной линейки длиною около 3 метровъ. Въ приведенной таблицѣ III сопоставлены наблюденные объемы съ отчетами по кривой. Этотъ сводъ, позволяющій судить о томъ, на сколько хорошо полученная кривая совпадала съ наблюденіями, содержитъ всѣ произведенныя мною наблюденія надъ расширеніемъ воды. Знаки надъ цифрами обозначаютъ дилатометръ, посредствомъ котораго получено каждое число.

Столбецъ, содержащій разности между наблюденіями и отчетами по кривой, показываетъ, что отклоненія въ положительную или отрицательную сторону не превышаютъ 18 единицъ шестого знака за исключеніемъ только двухъ случаевъ; эти два сильно выпадающія изъ кривой наблюденія, при $75^{\circ}.76$ и $80^{\circ}.04$, получены, какъ видно по знаку надъ цифрой, однимъ и тѣмъ-же дилатометромъ (№ 2а) и искажены какой-либо незамѣченной случайностію. Выпустивъ поэтому эти два наблюденія, мы получаемъ, выражая все въ единицахъ шестого знака, алгебраическую сумму погрѣшностей $= -68$ и арифметическое среднее этихъ погрѣшностей $= -1.7$. Такимъ образомъ кривая является какъ-бы сдвинутой въ сторону высшихъ значеній въ среднемъ на почти двѣ единицы шестого знака. Средняя погрѣшность единичнаго наблюденія оказывается равной $\pm 0.0_58$.

IV. Объемы воды для cadaго градуса отъ 30 до 80° по воздушному термометру.

Давленіе = 1 атм.

Температуры.	Объемы воды.	Температуры.	Объемы воды.	Температуры.	Объемы воды.
0.00 ⁰	1.00000	47.00	1.01057	64.00	1.01909
30.00	1.004212 ¹⁾	48	1102	65	1965
31	452	49	1148	66	2021
32	484	50	1194	67	2078
33	516	51	1240	68	2136
34	549	52	1287	69	2195
35	583	53	1336	70	2254
36	618	54	1385	71	2314
37	653	55	1434	72	2374
38	691	56	1483	73	2436
39	728	57	1534	74	2498
40	767	58	1585	75	2560
41	806	59	1638	76	2624
42	846	60	1691	77	2687
43	887	61	1745	78	2752
44	928	62	1800	79	2817
45	970	63	1853	80.00	2882
46	1.01013				

1) Наблюденіе.

Таблица IV содержит объемы воды для каждого градуса в предѣлахъ отъ 30.00 до 80⁰.00 по воздушному термометру, полученные изъ наблюдений посредствомъ описанной графической интерполяціи. Ограничиваясь пятью десятичными знаками возможно, какъ это видно изъ таблицы, в предѣлахъ каждаго двухъ градусовъ интерполировать объемы для промежуточныхъ температуръ прямолинейно.

Въ таблицѣ V наконецъ я даю сводъ наблюдений надъ тепловымъ расширеніемъ воды между 30 и 80⁰, произведенныхъ различными наблюдателями въ теченіи времени отъ 1810 года по настоящее время. Въ столбцахъ подъ Δ даны, какъ и прежде, въ единицахъ шестого десятичнаго знака разности объемовъ, полученные вычитаніемъ объемовъ разсматриваемаго автора изъ объемовъ, полученныхъ мною. Относительно подсчетовъ, произведенныхъ съ данными различныхъ авторовъ до внесенія въ эту таблицу слѣдуетъ сказать то-же, что упомянуто на стр. 9. Замѣчу еще, что объемы Ненгісі взяты у автора безъ измѣненій, а приведенные объемы Jolly для этого интервала температуры заимствованы цѣликомъ изъ первой таблицы этого автора (I. с. 160), данныя которой для 30 до 40⁰ нѣсколько отличаются отъ данныхъ для тѣхъ-же температуръ во второй таблицѣ (I. с. 161), простирающейся отъ 0 до 40⁰.

V. Сводъ наблюдений надъ расширеніемъ воды между 30 и 80⁰.

Объемъ при 0⁰ = 1. Давленіе = 1 атм.

Температура.	Bischof. Гидр. вѣсы. 1810	Δ	Muncke. Дилат. 1831	Δ	Despretz. Дилат. 1839	Δ	Pierre. Дилат. 1845	Δ
30.00	1.003893	+	1.0041563995	57.6...	1.00420	+	1.0040710	143.0
33	—		1.0051058601	57.1...	1.00512	+	1.0050061	156.9
35	1.0053	+	1.0056862924	143.7..	1.00580	+	1.0056770	153.0
37	—		—		1.00648	+	1.0063825	154.5
40	1.006971	+	1.0074831356	186.8..	1.00760	+	1.0075120	158.0
45	1.00883	+	1.0094445501	258.5..	1.00972	+	1.0095625	140.5
50	1.010885	+	1.0116277050	322.3..	1.01192	+	1.0118150	135.0
55	1.01317	+	1.0140567243	280.3..	1.01432	+	1.0143596	22.6
60	1.015653	+	1.0165092732	404.7..	1.01685	+	1.0171180	204.0
65	1.01836	+	1.0191879164	459.0..	1.01954	+	1.0199465	299.5
70	1.021298	+	1.0216149951	922.0..	1.02242	+	1.0229376	400.6
75	1.0246	+	1.0249292450	668.7..	1.02549	+	1.0260782	480.2
80	1.027849	+	1.0280525377	772.4..	1.02872	+	1.0293600	535.0

Темпера- туры.	Karsten.	△	Корр.	△	Hagen.	△	Gerlach.	△
	Гидр. вѣсы. 1846		Дилат. 1847		Гидр. вѣсы. 1855		Дилат. 1859	
30.00	1.004165	+ 49	1.004064	+ 150	1.0041229	+ 91.1	1.00415	+ 64
33	—		—		1.005069	+ 94	—	
35	1.005805	+ 25	1.005697	+ 133	1.005744	+ 86	1.00575	+ 80
37	—		—		1.006454	+ 83	—	
40	1.007651	+ 19	1.007531	+ 139	1.007583	+ 87	1.00758	+ 90
45	1.009680	+ 23	1.009541	+ 162	1.009628	+ 75	1.00960	+ 103
50	1.011866	+ 84	1.011766	+ 184	1.011865	+ 85	1.01170	+ 250
55	1.014186	+ 151	1.014100	+ 237	1.014286	+ 51	1.01420	+ 137
60	1.016615	+ 299	1.016590	+ 324	1.016880	+ 34	1.01680	+ 114
65	1.019127	+ 520	1.019302	+ 345	1.019634	+ 13	1.01955	+ 97
70	1.021697	+ 840	1.022246	+ 291	1.022545	- 8	1.02255	- 13
75	1.024299	+ 1299	1.025440	+ 158	1.025604	- 6	1.02570	- 102
80	1.026906	+ 1919	1.028581	+ 244	1.028801	+ 24	1.02910	- 275

Темпера- туры.	Jolly.	△	Henrici.	△	Matthiessen.	△	Rossetti.	△	Amagat.	△
	Дилат. 1864		Пикном. 1864		Гидр. вѣсы. 1866		Дилатом. 1868		Піэзомергь. 1893	
30.00	1.004118	+ 96	1.004098	+ 116	1.004217	- 3	1.004138	+ 76	1.00421	+ 4
33	—		—		1.005121	+ 42	—		—	
35	1.005699	+ 131	1.005710	+ 120	1.005788	+ 42	—		—	
37	—		—		1.006488	+ 49	—		—	
40	1.007510	+ 160	1.007601	+ 69	1.007602	+ 68	1.007601	+ 69	1.00757	+ 100
45	1.009529	+ 174	1.009705	- 2	1.009623	+ 80	1.009571	+ 132	—	
50	1.011749	+ 201	1.011940	+ 10	1.011840	+ 110	1.011769	+ 181	1.01182	+ 130
55	1.014192	+ 145	1.014393	- 56	1.014247	+ 90	1.014169	+ 168	—	
60	1.016825	+ 89	1.016963	- 49	1.016835	+ 79	1.016723	+ 191	1.01678	+ 134
65	1.019623	+ 24	1.019643	+ 4	1.019594	+ 53	1.019463	+ 184	—	
70	1.022255	+ 282	1.022468	+ 69	1.022518	+ 19	1.022390	+ 147	1.02243	+ 107
75	1.025641	- 43	1.025487	+ 111	1.025597	+ 1	1.025475	+ 123	—	
80	1.028873	- 48	1.028767	+ 58	1.028822	+ 3	1.028696	+ 129	1.02874	+ 85

Темпера- туры.	Chappuis Дилатом. 1897	△	Plato, Domke, Harting. Гидр. вѣсы 1900	△	Thiesen, Scheel, Diesselhorst. Сообщ. сосуды. 1900	△	Landesen Дилатом. 1902
30.00	1.0042101	+ 3.9	1.00421	+ 4	1.0042126	+ 1.4	1.004214
33	1.0051622	+ 0.8	1.00517	- 7	—	—	1.005163
35	1.0058398	- 9.8	1.00585	- 20	1.0058445	- 14.5	1.005830
37	1.0065511	- 14.1	1.00655	- 13	—	—	1.006537
40	1.0076798	- 9.8	1.00760	+ 70	1.0076860	- 16.0	1.007670
45			1.00961	+ 93			1.009703
50			1.01188	+ 70			1.011950
55			1.01428	+ 57			1.014337
60			1.01685	+ 64			1.016914
65							1.019647
70							1.022537
75							1.025598
80							1.028825

Темпера- туры.	Marek Гидр. вѣсы 1891	△	Scheel Дилатом. 1892	△	Thiesen Гидр. вѣсы 1892	△	Kreitling Дилатом. 1902	△
30.00	1.0042230	- 9.0	1.0042184	- 4.4	1.0042147	- 0.7	1.004221	- 7
33			1.0051771	- 14.1			1.005184	- 21

Вышеприведенный сводъ показываетъ въ общемъ тѣ-же особенности какъ и сводъ на таблицѣ I что касается односторонности погрѣшностей у ббльшей части наблюдателей и постепеннаго уменьшенія разностей между данными по мѣрѣ приближенія къ настоящему времени. Опрежденія Despretz и здѣсь должно назвать лучшими для своего времени. Изъ данныхъ другихъ наблюдателей по 1868 годъ всего ближе къ моимъ даннымъ Matthiessen'a и Hagen'a, отклоненія которыхъ находятся по ббльшей части въ пятомъ знакѣ, заходя только одинъ разъ въ четвертый знакъ. Далѣе определенія Hengici несомнѣнно лучше определеній Jolly. Данныя Amagat между 40 и 80° всѣ на близко постоянную величину, около единицы четвертаго знака, малы. Относящіяся къ послѣднему времени определенія Plato-Domke-Harting'a (1900), простирающіяся только до 60°, немногимъ ближе къ моимъ чѣмъ определенія Matthiessen'a.

Согласіе полученных мною объемовъ воды съ объемами Thiesen-Scheel-Diesselhorst'a между 30 и 40° является рядомъ съ Charnuis самымъ лучшимъ. Бóльшаго согласія съ этими опредѣленіями, полученными по методу абсолютному, независящему отъ точности нашего знанія коэфф. расширенія стекла и ртути, а тѣмъ и бóльшаго приближенія къ истинѣ, чѣмъ съ погрѣшностію до 1 или 2 единицъ пятого знака послѣ запятой, производя наблюденія посредствомъ дилатометра, ожидать нельзя, пока эти коэфф. расширенія стекла и ртути не будутъ опредѣлены съ погрѣшностію, не превышающей нѣсколькихъ, немногихъ единицъ восьмого десятичнаго знака. Между тѣмъ средній коэфф. расширенія ртути между 0 и 100° , подсчитанный по наблюденіямъ Regnault различными изслѣдователями, показываетъ колебанія въ седьмомъ до единицы шестого знака, а именно ¹⁾

Regnault	нашелъ	0.0_318153 ,
Bosscha	„	0.0_318241 ,
Wüllner	„	0.0_318253 ,
Levy	„	0.0_318207 ,
Broch	„	0.0_318216 .

Это обстоятельство влечетъ за собой такія-же колебанія въ коэффиціентѣ расширенія стекла, если послѣдній опредѣляется наблюденіемъ расширенія ртути въ дилатометрѣ. Погрѣшность же въ коэфф. стекла на единицу седьмого знака обуславливаетъ погрѣшность въ объемахъ воды отъ 3 до 8 единицъ шестого знака, смотря по температурѣ, въ предѣлахъ отъ 30 до 80° .

На основаніи всего вышесказаннаго и принимая во вниманіе какъ совпаденіе всѣхъ трехъ независимыхъ серій наблюденій надъ расширеніемъ воды, такъ и малую величину средней погрѣшности единичнаго наблюденія, я полагаю, что полученные мною объемы воды и выше 40° не удаляются отъ истины болѣе какъ на 2, максимумъ 3 единицы пятого знака послѣ запятой.

Дерпт-Юрьевъ, въ ноябрѣ 1902 г.

1) См. Müller-Pouillet's Lehrb. d. Physik II, 2 (Wärme). Braunschweig 1893.



3 0112 115476217